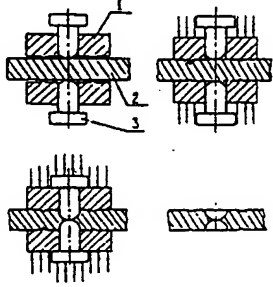


SU 001808878 A1

APR 1993

<p>94-207686/25 M21  MOSC MIKOYAN MECH ENG WKS  90.03.15 90SU-4822781 (93.04.15) C21D 7/04  Apertured item mfr. - involves using limiting punches for further cold plastic deformation, applying specified force  C94-095184  Addnl. Data: MOROZOV M S, MUSALEEV R F, KIRYANOV A M</p>	<p>MOMI= 90.03.15  *SU 1808878-A1  M(21-E2)</p>
<p>The apertured item mfg. process comprises using external limiting punches (1) and internal hardening punches (3) to form two concentric imprints in the time (2). The imprints are of different depth and cross-section shape. They are at a certain distance from each other. The force required from the punches is calculated. The removal of the imprints, their depth and the pressing-in force of the punches are linked by a specified formula.  By calculation or experiment, those apertures are determined in the zone of which it is advisable to harden to increase durability. The apertures are marked out on the structural elements (2), and the indentation are made in the usual way, firstly by the limiting punch (1) with its rigid power lock in the end position, and then by the hardening punch (3). The axis of the aperture should coincide with the axes of the punches. In removing the imprints, the max. level of residual compression stresses in the peak zone for stresses in use</p>	<p>should be left. There should be a high level of propagation of the compressions stresses in the zone of slow development of fatigue cracks.  USE/ADVANTAGE - For pressure treatment of structural items with apertures. Greater durability is ensured.</p>  <p style="text-align: right;">SU 1808878-A</p>

© 1994 DERWENT PUBLICATIONS LTD.

14 Great Queen Street, London WC2B 5DF

US Office: Derwent Inc., 1313 Dolley Madison Boulevard,  
Suite 401 McLean, VA22101, USA

Unauthorised copying of this abstract not permitted

приводит к замедлению скорости роста трещин в данной области.

Указанная на фиг.3 последовательность выполнения отпечатков с применением жесткой силовой фиксации ограничивающего пуансона поз.1, имеющего кольцевой выступ, внедренный в упрочняемый материал поз.2 обеспечивает его объемную деформацию в зоне отверстия и вокруг него при внедрении упрочняющего пуансона поз.3. Наведение остаточных сжимающих напряжений в условиях объемно-деформированного состояния материала приводит к увеличению фактического предела текучести материала и позволяет повысить уровень остаточных сжимающих напряжений до величины предела текучести ( $\sigma_T$ ) по всей зоне, ограниченной внешним кольцевым отпечатком. При этом исключается возможность возникновения технологических трещин при выполнении внутреннего упрочняющего отпечатка.

На фиг.4 показан вид упрочненного отверстия после его окончательного изготовления.

Способ осуществляется следующим образом.

Расчетным или экспериментальным методом определяются отверстия, в зоне которых с целью повышения ресурса целесообразно провести упрочнение. На конструктивных элементах проводится разметка отверстий и известными методами осуществляется вдавливание сначала ограничивающего пуансона с его жесткой силовой фиксацией в конечном положении, а затем упрочняющего пуансона, причем ось намеченного отверстия должна совпадать с осями пуансонов.

Процесс освобождения упрочняемой детали выполняют в обратной последовательности.

При определении удаления отпечатков учитываются следующие факторы: достижение максимального уровня остаточных сжимающих напряжений в зоне пика эксплуатационных напряжений, вызванного наличием концентратора напряжений; распространение высокого уровня остаточных сжимающих напряжений в зоне медленного развития усталостной трещины.

Уровень эксплуатационных напряжений действующих в непосредственной близости от концентратора напряжения характеризуется теоретическим коэффициентом концентрации ( $\alpha\sigma$ ), определяемым отношением:

$$\alpha\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ном}}}$$

где  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\text{ном}}$  – максимальное и номинальное напряжение соответственно.

Существенное значение на долговечность конструктивного элемента оказывает также и градиент напряжений характеризующий быстроту снижения действующих напряжений по мере удаления от концентратора. Анализ величины и зоны действия повышенных напряжений вызванных концентратором в виде отверстия показывает, что величина максимальных напряжений составляет (2,5-3)  $\sigma_{\text{ном}}$ , а зона их действия определяется величиной 1,5 / мм.

Статистический анализ кинетической диаграммы разрушения при линейно-кусочной аппроксимации функции скорости роста трещины показывает, что можно принять следующие диапазоны:

$$m \approx 3 \text{ при } 0 \leq \frac{K}{K_c} \leq 0,35$$

$$m \approx 4,5 \quad 0,356 \leq \frac{K}{K_c} \leq 0,5$$

$$m \geq 9 \quad 0,5 \leq \frac{K}{K_c} \leq 1,0$$

где  $m$  и  $c$  – характеристики материала;

$m$  – параметр характеризующий интенсивность возрастания скорости развития трещин при изменении;

$K$  – коэффициент интенсивности напряжений;

$$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot l}$$

где  $l$  – полудлина трещины;

$\sigma$  – действующее напряжение.

Учитывая, что период развития трещины в диапазоне  $\frac{K}{K_c} = 0-0,5$  составляет 80-90% общей длительности роста трещины (ДРТ), нет смысла формировать зону остаточных сжимающих напряжений выходящую за рамки этого условия, т.е. удаление отпечатков (1), друг от друга определяется при условии  $K = 0,5 K_c$ .

Для упрощения расчетов эксплуатационный спектр обычно приводят к уровню напряжений

$$\sigma = 0,5 \sigma^p$$

где  $\sigma^p$  – расчетное напряжение, определяемое с учетом коэффициента чувствительности материала к надрезу ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \frac{\sigma_{\text{разр}}}{\sigma_B} \quad 0,8 - 1,0$$

Анализ кривых усталости показывает, что одинаковая долговечность неупрочнен-

ных и упрочненных современными методами пластического деформирования при условии

$$\sigma_{неупр} = (0,75-0,85) \sigma_{упр}$$

Таким образом, средний эффективный уровень напряжений действующих в упрочненной зоне составляет 0,75-0,85 уровня номинальных напряжений.

Учитывая вышеизложенное, имеем:

$$0,5K_c = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,85\sigma_b \sqrt{\pi \cdot l}$$

откуда

$$l = 0,64 \frac{K_c^2}{\sigma_b^2}$$

Так как соотношение  $K_c/\sigma_b$  у современных сплавов находится в интервале 3,0-4,5 размер  $l$  находится в интервале 6-14 мм.

Расчетные данные подтверждаются экспериментальными, где плоский участок усталостной зоны излома, характеризующийся медленным развитием трещины, образца типа "полоса с отверстием" шириной 36 мм и  $D_{отв} = 6$  мм составляет 3-5 мм в каждую сторону от отверстия, т.е. полный размер  $2l$  с учетом  $l_{отв}$  составляет 12-16 мм. Таким образом, окончательно удаление отпечатков друг от друга рекомендуется принимать в диапазоне  $l = (0,8-1,5)D_{отв}$ .

Глубина ограничивающего отпечатка ( $h$ ) выбирается исходя из требования достаточного стеснения материала в радиальном направлении с одновременным сохранением достаточных прочностных характеристик сечения ослабленного этим отпечатком и принимается в интервале  $(0,05-0,15)S$ , а форма поперечного сечения должна создавать возможно меньшую концентрацию напряжений, например, в виде сопряжения радиусов.

Глубина и форма упрочняющего отпечатка выбирается из условия максимального равномерного вытеснения материала в радиальном направлении и принимается глубина в интервале  $(0,3-0,5)S$ , форма - цилиндрическая со сферическим окончанием.

Условием, определяющим силу, действующую на ограничивающий пуансон, является загрузка внутренней площади контакта этого пуансона, ограниченной кольцевым выступом, напряжениями, превышающими предел текучести ( $\sigma_T$ ) упрочняемого материала на 20-25% для гарантированного сохранения габаритов сформированной зоны упрочнения, при вы-

теснении материала упрочняющими инструментом, который в свою очередь должен задавать напряжения, превышающие аналогичную величину вышеуказанные его гарантированного внедрения на заданную глубину. Исходя из этого, усилие ограничивающий и упрочняющий пуансон определяются по формулам:

$$P_o = (1,2-1,5) \pi \sigma_T (l^2 - 0,25 D_{отв}^2)$$

$$P_y = (0,35-0,6) \pi \cdot \sigma_T D_{отв}^2$$

где  $l$  - расстояние между центрами отпечатков;

$D_{отв}$  - диаметр отверстия.

В качестве примера рассмотрим вариант упрочнения отверстия 10 мм в панели BT20 толщиной 4 мм.

Для материала BT20 характеристическое напряжение  $\sigma_T = 85-100$  кг/мм<sup>2</sup>. Соотношение параметров отпечатков и усилий определены по рекомендованным формулам с использованием следующих коэффициентов:

$$l = 1,3 D_{отв} = 1,3 \cdot 10 = 13 \text{ мм}$$

Коэффициент 1,3 выбран по следующим соображениям: так как свободный край отверстия удален от упрочняемого отверстия, это исключает растрескивание перемычки детали и позволяет увеличить зону остаточных сжимающих напряжений, приняв большую величину коэффициента, для материалов с высокими  $\sigma_T$  не рекомендуется применять максимально допустимых значений коэффициентов, так как это требует больших усилий воздействия на ограничивающий пуансон  $g = 0,1$   $S = 0,1 \cdot 4 = 0,4$  мм

в первом приближении рекомендуется принимать среднее значение коэффициента 0,1, которое может корректироваться по результатам лабораторных испытаний

$$H = (0,4-0,5) S = (0,4-0,5) 4 = 1,6-2,0 \text{ мм}$$

Для пластических материалов рекомендуется принимать большие значения коэффициентов.

$P_o$  и  $P_y$  определяются с использованием средних значений коэффициента, которые могут корректироваться по результатам лабораторных испытаний

$$P_o = 1,35 \pi \cdot \sigma_T (l^2 - 0,25 D_{отв}^2) =$$

$$= 1,35 \cdot \pi \cdot 100 (13^2 - 0,25 \cdot 10^2) \approx 60 \tau$$

$$P_y = 0,5 \pi \cdot \sigma_T \cdot D_{отв}^2 =$$

$$= 0,5 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^2 \approx 16 \tau$$

Эффективность пластического деформирования для увеличения срока службы деталей подтверждена результатами блочных испытаний образцов типа "полоса с отвер-

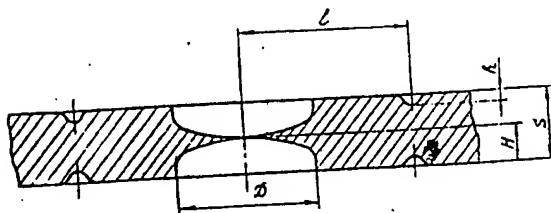
стием" из плит сплава 1440 с габаритами 10 60 250 мм;  $D_{отв} = 8$  мм. Блок представлял собой совокупность нагрузок семи различных уровней с  $\sigma_{max}$  <sup>нетто</sup> 32,3 кг/мм<sup>2</sup>.

Долговечность до разрушения образцов с отпечатками в 1,5 раза больше долговечности образцов без отпечатков.

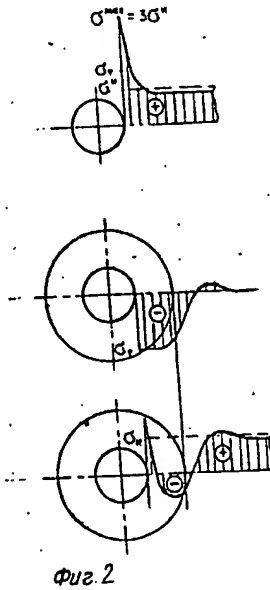
Формула изобретения

Способ изготовления деталей с отверстиями, включающий предварительную холодную пластинчатую деформацию зоны формирования отверстия с помощью пуансонов и последующее выполнение отверстия, отличающийся тем, что, с целью увеличения срока службы деталей, перед

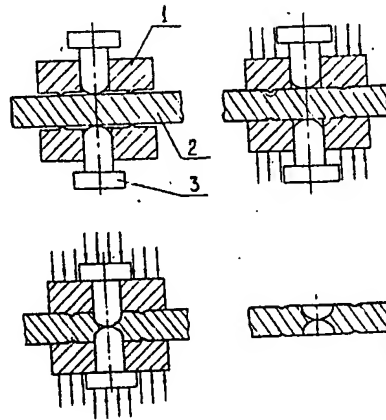
пластической деформацией осуществляют дополнительную холодную пластическую деформацию с помощью ограничивающих пуансонов с приложением усилия  $P_0 = (1,2-1,5)\pi \cdot \sigma_T(l^2 - 0,25 D_{отв}^2)$  и получением кольцевых отпечатков глубиной  $h = (0,05-0,15)S$  на расстоянии  $l = (0,8-1,5)D_{отв}$  от оси отверстия, а пластическую деформацию зоны отверстия проводят без снятия усилия  $P_0$  с приложением усилия  $P_y = (0,35-0,6)\pi \cdot \sigma_T D_{отв}^2$  на упрочняющий пуансон, с получением отпечатка глубиной  $H = (0,3-0,5)S$ , где  $S$  — толщина детали;  $\sigma_T$  — предел текучести материала детали;  $D_{отв}$  — диаметр отверстия.



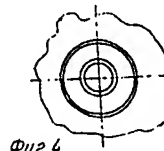
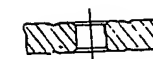
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Редактор В.Трубченко

Составитель М.Морозов  
Техред М.Моргентал

Корректор М.Куль

Заказ 1258

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 10.

State Patent Department of USSR  
(GOSPATENT USSR)  
Description of Invention for Certificate of Authorship

(21) 4822781/02

(22) 15-3-90

(46) 15-4-93 Bull. No.14.

(71) Moscow A.I Mikoyan Machine building factory

(72) M.S. Merezov, F.F. Musaleev, A.M. Kirjanov,  
A.A. Kovachev, and B.A. Patrikeev

(56) Certificate of Authorship USSR No. 596638, Cl. C12D 7/02, 1977

Certificate of Authorship USSR No. 7615852, Cl., C21D 7/02, 1978

Patent of USA No. 3434329, Cl. 12-377, 1979

(54) METHOD OF PRODUCTION OF PARTS WITH HOLES

(57) Use: The invention is classified under pressure treatment of load carrying structural elements with holes. The essence: An external limiting plunger and internal hardening plunger are used to form two concentric imprints of a different depth and cross-section shape in a part; imprints are located at certain distances from each other with the selection of the order of pressing of these plungers in with a certain force; moreover removal of imprints, their depth and the force of pressing the plungers in are related by a formula claimed by authors and given in the description of the invention. 4 drawings.

---

The invention is classified under pressure treatment of structural elements with holes.

The purpose of the invention is to increase the durability of load carrying structural elements by increasing time span of formation of a fatigue crack and its development to a critical size.

Drawing 1 shows the location and geometric parameters of imprints in a design element; drawing 2 shows the distribution of stresses at the site of a hole that is being strengthened; drawing 3 shows the sequence of operations; drawing 4 shows the finished strengthened hole.

Location of imprints shown in drawing 1 leads to a decrease in the level of actual working tensile stresses due to the fact that residual compressive stresses  $\sigma_{res}$  created by plastic strain envelop the zone of probable formation and development of a fatigue crack; interaction of the external imprint which limits deformation, with an internal strengthening imprint leads to an increase of the size of the zone with residual tensile stresses.

Mechanism of redistribution of stresses is explained in drawing 2. Drawing 2 shows stress fields around an unfortified hole, residual tensile stresses after an imprint formation and a cumulative stress diagram in the zone of the strengthened hole with formation of an area, where working stresses are lower than nominal stresses. The existence of such an area results in slower crack growth speed in that area.

Drawing 3 shows the sequence of imprint execution by means of the limiting plunger posit. 1 with rigid power fixing and a circular projection embedded in the material being strengthened posit.2. This sequence provides volumetric deformation of the material posit: 3 in the hole zone and around it when the strengthening plunger posit.3 is embedded.

Setting up residual compressive stresses in conditions of volumetrically strained state of material leads to an increase in the actual yield limit of the material and allows for an increase in the level of residual compressive stresses to yield limit  $\sigma_y$  in the whole zone, limited by the external circular imprint. At the same time, the possibility of starting technological cracks while making the internal strengthening imprint is eliminated.

Dwg 4 shows a view of the strengthened hole after finishing.

The method is accomplished as follows:

Holes in a zone where it is advisable to conduct strengthening in order to increase their durability are experimentally determined or calculated. Holes are marked on design elements and pressing in is conducted with known methods. The limiting plunger is pressed in first, having a rigid power fixing at the end position, followed by the strengthening plunger. The center of the marked hole must be aligned with the axis of the plungers.

The process of releasing of the detail after strengthening is accomplished in a reverse sequence.

The following factors are considered in the removal of imprints: achieving a maximum level of residual compressive stresses in a peak zone of working stresses, by presence of a stress concentrator; distribution of a high level of residual compressive stresses in a zone of slow development of fatigue crack.

The level of working stresses acting closest to the stress concentrator is characterized by a theoretical concentration coefficient ( $\alpha_\sigma$ ) determined by the following ratio:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$$

Where  $\sigma_{\max}$  and  $\sigma_{\text{nom}}$  are the maximum and nominal stresses, respectively.

Durability of the design element is also significantly influenced by a stress gradient describing the speed of working stresses decrease when moving farther from the concentrator.

Analysis of the magnitude and effective zone of increased tensions caused by a concentrator such as a hole shows that the magnitude of maximum tensions is (2.5-3)  $\sigma_{\text{nom}}$ , and the zone of their action is 1.5mm.

Statistical analysis of the destruction kinetic diagram shows that the following ranges are acceptable when linear-bit approximation of the function of speed of crack growth is used.

$m \approx 3$	at $0 \leq K/K_c \leq 0.35$
$m \approx 4.5$	$0.356 \leq K/K_c \leq 0.5$
$m \approx 9$	$0.5 \leq K/K_c \leq 1.0$

Where  $m$  and  $c$  are material characteristics;

$m$  – parameter describing intensity of increase in development rate of cracks in changes.

$K$  – coefficient of stress intensity;

$$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot L}$$

Where  $L$  is crack half length;

$\sigma$  – working stress.

Considering that a period of crack development in the range of  $K/K_c = 0-0.5$  makes 80-90% of the total duration of crack growth (DCG), there is no sense in forming a zone of residual compressive stresses, outside of this condition, e.g. distance ( $L$ ) between imprints is determined at condition  $K = 0.5 K_c$ .

In order to simplify the calculation, the working spectrum is usually brought to the stress level

$$\sigma = 0.5 \sigma^R$$

Where  $\sigma^R$  is the rated stress determined by taking into consideration the coefficient of notch sensitivity of the material ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \sigma_{BR} / \sigma_B \cdot 0.8 - 1.0$$

Analysis of fatigue curves shows that durability of unfortified parts and those strengthened by modern methods of plastic deformation is the same in condition

$$\sigma^{\text{unfort}} = (0.75 - 0.85) \sigma^{\text{str}}$$

Thus average effective level of stresses, acting in a strengthened zone amounts to 0.75-0.85 of nominal stresses level.

Considering the above stated, we have the following:

$$0.5 K_c = 0.5 \cdot 0.8 \cdot 0.85 \sigma \sqrt{\pi \cdot L}$$

from which

$$L = 0.64 K_c^2 / \sigma_B^2$$

Since the ratio  $K_C / \sigma_B$  is in the range of 3.0-4.5 in modern alloys, the dimension  $L$  is in a range of 6-14 mm.

Calculations are experimentally confirmed, where the flat part of a fatigue zone of a break, which is typical for slow crack development, is 3-5 mm at each side of the hole for a model type "a strip with a hole" 36 mm in width and 6 mm  $D_{hole}$ . That means full dimension  $2L$  considering  $L_{hole}$  is 12-16 mm. Thus, final distance between imprints is recommended in a range  $L = (0.8-1.5) D_{hole}$ .

The depth of a limiting imprint ( $h$ ) is selected based on a requirement of a sufficient material constriction in a radial direction with simultaneous preservation of enough durability of a cross section, weakened by such an imprint. It is accepted in an interval  $(0.05-0.15)S$ , and a shape of a cross section is supposed to create the minimum stress concentration as, for example, in a conjugated radii.

The depth and shape of a strengthening imprint is selected based on a condition of a maximum even displacement of the material in a radial direction. The depth is accepted in the range  $(0.3-0.5)S$ ; the shape is cylindrical with a spherical end.

The condition defining force, acting upon a limiting plunger consists of loading of an internal contact surface of that plunger, limited by a circular projection, with stresses exceeding the limit of yield point ( $\sigma_y$ ) of the material being strengthened. Thus the yield point limit must be exceeded by 20-25% for the guaranteed preservation of the strengthened zone dimensions. This zone was formed by displacement of the material with the strengthening plunger, which, in turn, has to create stresses exceeding the above mentioned stresses by the analogous quantity, for its guaranteed penetration to a target depth.

Therefore, forces acting upon the limiting and strengthening plungers are determined according to formulas:

$$P_1 = (1.2 - 1.5) \pi \sigma_y (L^2 - 0.25 D_{hole}^2)$$

$$P_s = (0.35 - 0.6) \pi \sigma_y D_{hole}^2$$

Where  $L$  – distance between centers of imprints;

$D_{hole}$  – diameter of the hole.

As an example, let us review the case of strengthening of a 10 mm hole in a panel 4 mm thick, made out of BT20.

For material BT20,  $\sigma_y$  is 85-100 kg/mm<sup>2</sup>. Ratios of imprints and force parameters are calculated using recommended formulas, where the following coefficients were used:

$$L = 1.3 D_{hole} = 1.3 \cdot 10 = 13 \text{ mm}$$



The coefficient 1.3 is selected based on the following: since the free end of a detail is distant enough from the hole that is being strengthened, this eliminates cracking of the detail cross piece and allows increasing the zone of residual compressive stresses, by increasing the value of the coefficient. It is not recommended that the maximum coefficient values be used for materials with high  $\sigma_y$ , since this requires high forces acting upon the limiting plunger.

$$g = 0.1S = 0.1 \cdot 4 = 0.4 \text{ mm}$$

In the first approximation, it is recommended that an average coefficient value of 0.1 be used, which can be corrected in accordance with the results of laboratory testing.

$$H = (0.4 - 0.5)S = (0.4 - 0.5)4 = 1.6-2.0 \text{ mm}$$

It is recommended that for plastic materials, higher values of the coefficients are used.

$P_1$  and  $P_s$  can be found using average values of the coefficient, which can be corrected according to the results of laboratory tests.

$$P_1 = 1.35\pi \cdot \sigma_y (L^2 - 0.25D_{\text{hole}}^2) = 1.35\pi \cdot 100 (13^2 - 0.25 \cdot 10^2) = 60T$$

$$P_s = 0.5\pi \cdot \sigma_y \cdot D_{\text{hole}}^2 = 0.5 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^2 = 16T$$

Effectiveness of plastic deformation for increasing durability of parts is confirmed by unit test results of models "a strip with a hole" type, made out of plates of alloy 1440 with dimensions  $10 \times 60 \times 250 \text{ mm}$ ,  $D_{\text{hole}} = 8 \text{ mm}$ . The test unit consisted of loads of seven different levels with  $\sigma_{\text{net max}}^{\text{net}} = 32.3 \text{ kg/mm}^2$ .

Durability of models with imprints is 1.5 time longer than durability of models without imprints before destruction.

#### Invention Formula

Method of production of parts with holes including preliminary cold plate deformation of a hole forming zone with plungers and subsequent making of a hole, different in the following:

For the purpose of increasing part service life, prior to plastic deformation, additional cold plastic deformation is performed with limiting plungers with applied force  $P_1 = (1.2 - 1.5) \pi \cdot \sigma_y (L^2 - 0.25D_{\text{hole}}^2)$  and obtaining circular imprints with depth  $h = (0.05 - 0.15)S$  with a distance  $L = (0.8 - 1.5) D_{\text{hole}}$  from the center of a hole, and plastic deformation of a hole zone is conducted without removing the force  $P_1$  with the application of a force  $P_s = (0.3 - 0.5) S$ , where  $S$  is the thickness of the detail;  $\sigma_y$  – yield limit of material of a part;  $D_{\text{hole}}$  hole diameter.